

工艺型中央空调节能控制系统的算法与系统结构研究

Research on Energy Saving of Air-condition Control System

陈国武¹ 林 凡² 倪子伟¹

(1 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005; 2 厦门大学软件学院, 福建 厦门 361005)

摘 要

以自适应预测算法和 BP 神经网络算法为基础, 对中央空调控制系统的控制算法作出改进, 以提高节能效率。并在 Atmel 9200 芯片上加以实现和优化。实验结果表明, 新的控制系统能较好地实现控制的功能和节能目的。

关键词: 中央空调, 节能, 自适应预测算法, BP 神经网络算法

Abstract

This paper improve the center air-condition's controlling system based on self-fit forecast and BP ANN algorithms. Improving efficiency of energy saving on center air-condition. Implement these algorithms on Atmel9200 chip of ARM9 embedded system. Experiment shows that, new algorithms do well in both computation and energy saving.

Keywords: central air-conditioning, energy saving, self-fit forecast algorithms, BP ANN

1 中央空调的工作原理

本文主要针对的是工艺型中央空调, 与楼宇型中央空调不同, 工艺型中央空调一般是安装在工厂车间, 具有全天 24 小时开机, 服务质量必须稳定可靠和末端负荷一般有最低冷量要求等特点。

中央空调的变流量运行方式, 是指运用高效可靠的控制算法, 根据末端的负荷的需求, 可以动态地调节空调主机冷媒的流量和冷冻/却水泵、冷却风机的运行频率。适当地利用这一运行方式, 可以实现系统的功耗随末端的负载的变化而变化, 实现节能目的。

中央空调由制冷机、冷却水循环系统、冷冻水循环系统、风机盘管系统和散热水塔组成, 其工作原理如图 1 所示。

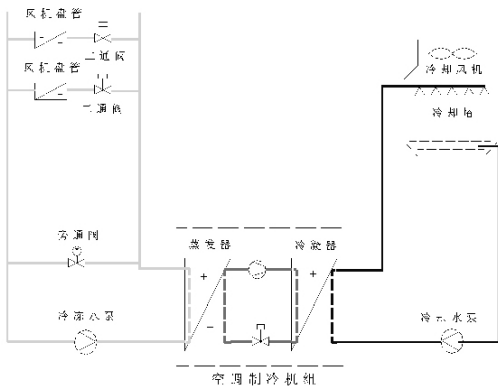


图 1 中央空调的系统组成

制冷机通过压缩机将制冷剂压缩成液态后送蒸发器中与冷冻水进行热交换, 将冷冻水制冷, 冷冻水泵将冷冻水送到各风机风中的冷却盘管中, 由风机吹送冷风达到降温的目的。经蒸发后制冷剂在冷凝器中释放出热量, 与冷却循环水进行热交换, 由冷却水泵将带来热量的冷却水泵到散热水塔上由水塔风扇对其进行喷淋冷却, 与大气之间进行热交换, 将热量散发到大气中去。

2 系统的构造和特点

2.1 新的复合算法提高节能效率

舒适性中央空调系统是一个多参量、非线性、时变性的复杂系统, 由于末端负荷的频繁波动, 必然造成系统循环溶液

(载冷剂、冷却剂、制冷剂溶液) 的运行参量偏离空调主机的最佳工作状态, 导致主机热转换效率(COP 值)降低, 系统长期在低效率状态下运行, 也会增加系统的能源消耗。

传统的节能控制系统一般采用模糊 PID 控制, 但是, 模糊 PID 控制算法简单, 只能实现单参量(温度或压力)的简单控制功能, 在一些单参量工业生产过程的控制中效果较好, 当用于控制中央空调这样的多参量、非线性、时变的且参量间耦合很强的复杂系统时, 很容易引起中央空调系统振荡, 使控制温度在较大范围内起伏, 长时间都不能到达设定值的稳定状态, 既影响了系统的稳定性, 又降低了空调效果的舒适性。而且工程参数整定之后, 就用同一种参数去对付各种不同的运行工况, 因此, 如果人工手动不去改变参数, 同一地区的同一套控制系统在夏天和冬天的时候节能效果相差很大, 南方地区用的同一套控制系统到了北方地区却完全达不到节能的效果。

本系统突破了模糊 PID 控制算法适应性差和自学习能力弱等特点, 采用自适应预测算法和 BP 神经网络算法, 该控制算法适应面广, 可用于不同生产环境的使用。这样既增加了中央空调的稳定性、实时性、可靠性, 又改变传统中央空调控制系统“南橘北枳”的特点。实现在空调系统的任何负荷条件下, 都能既确保中央空调系统的舒适性, 又实现最大的节能。

2.2 工业级嵌入式系统提高实时性和可靠性

在当前的中央空调控制系统中, 一般采用工控机+组态软件或单片机+PLC 作为控制系统。在工控机+组态软件组合中, 因为工控主机的价格比较昂贵, 增加了系统的成本。而且在中央空调现场高噪音、高湿度、高振动的环境下, 工控机的硬盘极易受到损伤, 系统稳定性、可靠性、控制实时性难以得到保证。

在单片机+PLC 组合中, 虽然提高了系统的稳定, 但是在这种组合中, 它的主要算法简单, 运行实例在依赖模糊控制库, 这就要求要建立一个非常完备模糊控制库, 在现阶段, 建立一个全国各地一年四季的模糊控制库, 还不太现实。在这种组合中, 系统的扩展性比较差, 联网控制和分布式控制模型建立相对比较困难。

本文采用基于 ARM9 核心的 Atmel 9200 工业级芯片的嵌入式系统, 具有强实时性, 高可靠性, 高稳定性的特点。有效解决了目前多数基于工业 PC 方案的稳定性、实时性、可靠性的问题;

高速 SOC 处理芯片, 能够及时地根据中央空调系统的环境变化作出响应, 还降低了系统的功耗。嵌入式系统的主要特点有:

1) 算法可以复杂、可以联网、可以接多种不同类型的传感器网络, 扩展性好, 还可以在线升级。

2) 比传统 PC 稳定、可靠, 体积小、功耗低, 对环境要求低, 安装维护方便, 成本低, 成本大概只有传统方案的 1/4。

3) 采用 RTOS, 开发性高, 体积小, 兼容 AnsiC, 支持网络库, 可以对信号的实时采集进行优化。

3 系统原理框架

图 2 是中央空调节能控制原理框图。

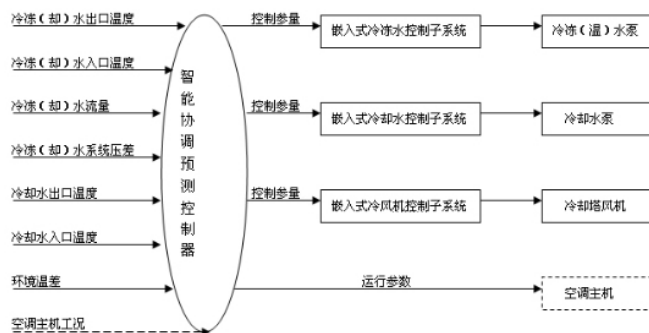


图 2 系统原理框图

智能协调预测控制器由智能协调接口、数据库、规则库、推理机、预测规划接口等构成。它的输入变量都选用受控变量, 它们能够比较准确地反映受控过程中输出变量的动态特性。对于系统而言, 受控变量是系统的供回水温度、流量及压差等。当中央空调系统负荷变化造成空调主机及其水系统偏离最佳工况时, 智能协调预测控制器根据数据采集得到各种运行参数值, 如对系统供回水温度、供回水压差、流量及环境温度等, 经推理运算后输出优化的控制参数值, 对系统运行参数进行动态调整, 确保主机在任何负荷条件下, 都有一个优化的运行环境, 始终处于最佳运行工况, 从而保持热转换效率(COP)最高、能耗最低, 实现主机节能 20%。

主机热转换效率 COP 计算公式: 额定工况下, 制冷机组额定制冷量 Q_0 与消耗的电功率 N_0 之比(kw/kw):

$$COP = \frac{Q_0}{N_0}$$

在图 2 中, 每个子系统的控制参量不同。在冷冻水控制系统中, 控制参量有冷冻水进/回水温、冷冻水流量、冷冻水压力、冷冻水泵频率、冷冻水蓄水温、冷却水泵功率。在冷却水控制系统中, 控制参量有冷却水进/回水温度、冷却水泵频率、冷却水泵功率。在冷却风机控制子系统中, 控制参量有冷却水进/回水温度、风机频率、风机功率。

4 自适应预测算法、BP 神经网络算法

4.1 自适应预测算法

控制系统的核心是智能协调预测控制器及其控制规则, 是通过推理、利用知识库, 把某些知识与过程状态结合起来, 构成一套自寻优的智能控制策略。尤其适合于中央空调这样复杂的、非线性的和时变性系列的控制。

能过分析智能协调预测控制器的输入和输出可以知道, 我们输入的是冷冻/却水进/回水温度, 冷冻/却水流量/压力, 环境温度和主机的工况; 要输出的效果是动态地调整系统参数, 使整个系统始终处于最佳运行工况。这是一个自寻优的过程。我们还需要知道在系统的运行记录中, 有哪些时间系统是运行在最优的情况下, 只要查找运行记录就可以了。

空调节能的实现是以不影响系统安全性和末端最低负荷为前提, 同时要跟随末端负载的变化而变化。如果前面运行的某一段时间里, 通过计算得到, 整个系统的运行工况达到最优, 运行的各种参数就会记录到数据库中。现在某一时刻, 如果系统还是运行在最佳状态下, 同样会保存各种运行参数; 如果系统没有处于最佳状态, 那么, 智能协调预测控制器就会根据自适应预测算法, 到数据库里查找, 在离当前最近时间里系统在最佳状态下的各种参数, 找到后, 调整系统的参数, 然后使整个系统处于最佳运行工况状态。

比如, 在离当前最近时间里系统在最佳状态下的, 冷冻水进/回水温度为 T_0, T_1 , 冷冻水流量为 $L \text{ m}^3/\text{h}$, 冷冻水压力为 $P \text{ kg}/\text{m}^2$, 冷冻水泵频率为 $F_1 \text{ Hz}$, 冷却水进/回水温度为 T_2, T_3 , 冷却泵频率为 $F_2 \text{ Hz}$, 风机频率为 $F_3 \text{ Hz}$ 。

$$K_0 * T_0 + k_1 * T_1 + k_2 * L + k_3 * P + k_4 * F_1 + k_5 * T_2 + k_6 * T_3 + k_7 * F_2 + k_8 * F_3 = \text{Best}$$

而在当前时间, 智能模块采集到冷冻水进/回水温度为 T_0', T_1' , 冷冻水流量为 $L' \text{ m}^3/\text{h}$, 冷冻水压力为 $P' \text{ kg}/\text{m}^2$, 冷冻水泵频率为 $F_1' \text{ Hz}$, 冷却水进/回水温度为 T_2', T_3' , 冷却泵频率为 $F_2' \text{ Hz}$, 风机频率为 $F_3' \text{ Hz}$, 通过计算主机 COP 得到当前并不是系统的最佳工况, 所以能过修改 k_0, k_1, \dots, k_8 , 使得:

$$K_0' * T_0' + k_1' * T_1' + k_2' * L' + k_3' * P' + k_4' * F_1' + k_5' * T_2' + k_6' * T_3' + k_7' * F_2' + k_8' * F_3' = \text{Best}$$

自适应预测算法的模型图 3 所示。

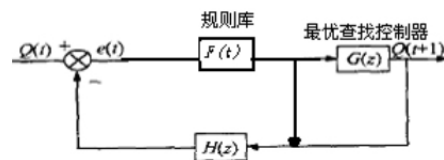


图 3 自适应预测算法模型

实测数据 $Q(t)$ 作为输入, 下一时刻的预测值 $Q'(t+1)$ 作为输出(这里以单步预测为例, 在多参数的情况下, 每个参数执行一次自适应预测)。构造一个单输入单输出的离散时间动态系统。图中的 $F(t)$ 是规则库函数, 可以是线性判断函数或者其它判断函数。自变量的定义域根据不同的类型而变化。 $G(z)$ 二分查找函数, 查找历史中最优的运行记录。 $H(z)$ 是反馈传递函数, 采用负反馈方式:

$$H(z) = z^{-1}$$

预测值 $Q'(t)$ 与实测值 $Q(t)$ 比较后的偏差为

$$e(t) = Q(t) - Q'(t+1) \quad H(z) = Q(t) - Q'(t)$$

4.2 BP 神经网络算法

在中央空调这种时变性强且多参量的系统中, 用 BP 神经网络可以很好的模拟这些特点。BP 神经网络算法, 运行于每一个嵌入式子系统中。其中输入层输入的控制参量是冷冻/却水温度、压力, 水泵和风机的频率。下面以冷冻水嵌入式控制子系统为例。其中, 隐含层和输出层的计算公式如下:

$$\text{隐含层: } Y_j = f\left(\sum_{i=1}^I w_{ji} X_i - \theta_j\right) \quad (1)$$

$$\text{输出层: } Y_k = f\left(\sum_{j=1}^m w_{kj} Y_j - \theta_k\right) \quad (2)$$

式中: X_i 表示冷冻水温度、冷冻水压力、冷冻水泵的当前频率(设有两个冷冻水泵)和前一次计算的误差; Y_j 表示隐含层单元第 j 个冷冻水泵频率的计算输出, Y_k 表示输出层第 k 个冷冻水泵

(下转第 30 页)

系统为主。对纯电气开关、设备的控制,则可通过权限设置来决定控制模式(是以 ECS 厂用电自动化系统为主,还是以 DCS 系统为主)。

以上监控模式对新建电厂的建设和老电厂的改造都具有很好的可靠性、经济性和先进性,尤其适用于自动化水平要求较高的新建电厂。

接口方式包括以下两种方式:

1) 热力系统的电动机等测量、控制设备和保护设备等通过现场工业总线网、通信接口设备分别与 DCS 系统(通过 DPU-分布式通信单元)以及电气监控系统进行通信。

2) 电气的测量、控制设备和保护设备等则通过现场工业总线网和通信接口设备先与电气监控系统进行通信,并通过 FECS 通信主站实现与 DCS 系统的信息交换。

电气监控系统的总线网络考虑到系统高可靠性、高通信速率和运行维护的方便性,通常采用双网方式(通信介质可采用屏蔽双绞线、同轴电缆、光纤等),并采用按电压等级或面向功能的分段方法。间隔层总体分段原则如下:

- 1) 6/0.38KV 厂用电电源及公用部分的保护、测控设备;
- 2) 发变组、高备变的保护/测控设备、同期屏、励磁调节控制单元的接入;
- 3) 升压站保护、测控设备的接入;
- 4) 与热工有关的电动机等负载设备的保护、监测(控制)设备。

考虑到网络通信的抗干扰能力和高速率、高可靠性,电气后台计算机监控双以太网和现场工业总线双网均采用光纤通信方式。

5.2 FECS 在网络通信基础上保留部分硬接线的接口模式

该模式如图 4 所示。FECS 与 DCS 采用通信接口,但保留传统硬接线。厂用电的数字式综合保护、测量、(控制)单元一方面通过通信接口和总线网络与厂用电监控系统进行通信,并通过 FECS 通信服务器实现与 DCS 系统的数据交换,同时省去了大量的测量变送器、控制电缆。该模式对厂用电系统中与热工联系紧密的电动机等负载的控制和重要遥测、遥信信息(如开关位置、保护动作、电动机故障等少量重要信息)仍通过硬接线方式

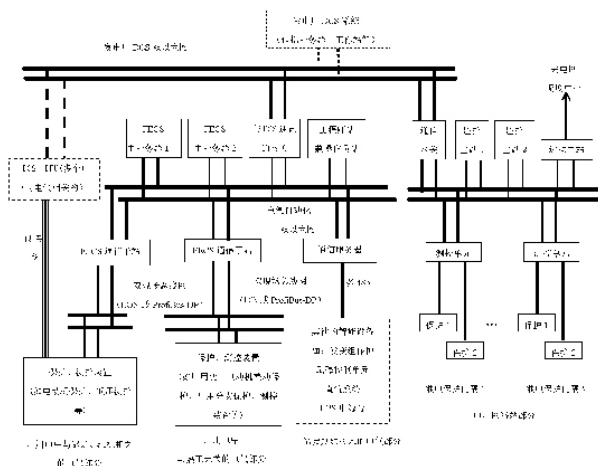


图 4 FECS 电厂电气自动化系统结构图之二
接至 DCS 系统的模块柜,实现与 DCS 系统的联络。

在这种模式下,对厂用电系统中与热工联系紧密的电动机等负载的控制则完全由 DCS 系统来直接实现。至于纯电气部分开关、设备的控制,则可通过权限设置来决定控制模式。通常由 FECS 厂用电自动化系统进行控制,并通过 FECS-DCS 通信主站提供给 DCS 系统需要的信息。

以上监控模式对老电厂改造具有一定的优越性,同时也为将来厂用电系统完全网络通信模式的实现提供了硬件设备和通信网络,基本上不需再增加投资。但是该方案未能最大化地发挥电气监控系统的优越性,仍然是传统的 DCS 硬接线控制,仅适用于用户特殊要求的系统。

参考文献

[1] 焦邵华,李娟,等.大型火力发电厂电气控制系统的实现模式[J].电力系统自动化,2005,8(15)
[2] 杨宪惠.现场总线技术及其应用[M].北京:清华大学出版社,1999
[收稿日期:2006.9.22]

(上接第 19 页)

的频率的控制输出; $f(x)$ 表示激活函数,在这里采用的是 s 型函数; W_{jk} 、 W_{kj} 分别表示输入层到隐层和隐层到输出层之间的连接权向量,根据温度、压力、当前频率和误差的不同权重,经实践分析,定义 $W=(0.4,0.15,0.2,0.2,0.05)$; j_k 、 j_j 分别表示隐层和输出层的阈值,这个阈值一般根据硬件变频器和负荷的最低需要来决定的,在这里 j_k 取值为 0.1, j_j 取值为 0.3。

定义误差函数为:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (O_{pk} - Y_{pk})^2 \quad (3)$$

式中: O_{pk} 为第 p 个输入模式 k 的频率期望输出; Y_{pk} 为网络的实际频率计算输出。

综上(1)(2)(3)分析,可以得出,在只有两个冷冻水泵的控制子系统中,其输出层计算公式为

$$Y = \{ (T^* 0.4 + H^* 0.15 + (HZ_1 + HZ_2)^* 0.2 + E^* 0.05) - 0.3 \} * M$$

$f()$:函数为 Sigmoid 函数;T:冷冻水温度;H:冷冻水压力;HZ₁、HZ₂:冷冻水泵 1、2 的频率;E:误差值;M:变频器的实际最大值(如果为 48,说明变频器设定最大频率为 48Hz)

5 结束语

本课题的目的是充分了解空调主机,冷冻水系统,冷却水系

统的工作原理,采用预测算法和 BP 人工神经网络控制算法,运用准确可靠的智能采集模块。在 Atmel 9200 工业级嵌入式芯片上,实现系统始终处在最佳运行工况,达到中央空调的耗电量随着末端负荷的变化而变化,从而实现节能的目的,并用 MiniGUI 软件在嵌入式系统上实现了良好的人机交互控制界面。经过半年左右的实际测试,本系统在厦门某大型化纤企业研发楼的工艺型中央空调系统的控制中,取得了良好的效果,基本实现夏季平均节能率在 25%以上,冬季平均节能率在 33%以上。

参考文献

[1] 霍小平.中央空调自控系统设计[M].北京:中国电力出版社,2004.3
[3] 夏云铨.中央空调系统应用与维修[M].北京:机械工业出版社,2004.10
[4] 周春光,梁艳春.计算智能:人工神经网络-模糊系统-进化计算[M].吉林:吉林大学出版社,2001
[5] 张立明.人工神经网络的模型及其应用[M].上海:复旦大学出版社,1993.7
[6] 陈祥光,裴旭东.人工神经网络技术及其应用[M].北京:中国电力出版社,2003
[7] 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算[M].北京:清华大学出版社,2005

[收稿日期:2006.10.10]